Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 36, No. 6, Feb.-Mar., 2023, p. 729-742

The Combined Role of GIS, RS and Geoelectric in Determining the Susceptible Areas of Underground Dam Construction (Case Study: Pashueeyeh Basin of Kerman Province)

N. Hajseyedalikhani[1*], H. Saeediyan[2]

Received: 04-10-2022 Revised: 07-12-2022 Accepted: 18-12-2022 Available Online: 22-02-2023	**How to cite this article:** Hajseyedalikhani, N., & Saeediyan, H. (2023). The Combined Role of GIS, RS and Geoelectric in Determining the Susceptible Areas of Underground Dam Construction (Case Study: Pashueeyeh Basin of Kerman Province). *Journal of Water and Soil 36*(6): 729-742. (In Persian with English abstract) **DOI:** 10.22067/jsw.2022.79034.1207

Introduction

Control and extraction of water using underground dams in arid regions has been of interest to researchers since not too long ago. Construction of underground dams does not require surface water storage and does not change land use. Therefore, they are environmentally suitable. The lack of groundwater resources on the one hand and indiscriminate and unscientific harvesting on the other hand, and the increasing needs associated with population growth, will cause scientific communities to revise and provide appropriate solutions for managing the exploitation of groundwater aquifers and creating new resources or renewable reservoirs in the country. Nowadays, in many countries of the world, the construction of underground dams has been considered as a new method for utilization of water resources. Several criteria such as physical, socio-economic and hydrological criteria are involved in the location of underground dams. Underground dams have wide applications for feeding groundwater aquifers and water storage, as well as preventing soil erosion and increasing groundwater quality. Due to the limitation of water resources and the lack of equality of the world's share in exploiting this divine gift, it is anticipated that most countries will soon suffer from severe water shortages, so that it is firmly believed that if this problem continues, many international conflicts will be over water for centuries to come. One of the strategies to deal with water shortage is to extract water from new resources, especially the discovery of underground, which can be done by constructing different underground dams and with the knowledge of the world.

Materials and Methods

In this study, to determine the susceptible areas of underground dam construction using field visits was selected Pashueeyeh watershed. To communicate between effective criteria and save time and money, a method based on combining maps in GIS and RS system has been used. In the first step, investigations were carried out to identify suitable areas for the construction of underground dam. For this purpose, data extracted from basic maps, findings in this field and expert opinions were used.

Results and Discussion

Therefore, a combination of new sciences such as GIS, RS and geoelectrics was used in determining the susceptible areas of underground dam construction, which in turn is a valuable research that provides the situation for creating other combined researches in different climates of the country, stating that a combination of different sciences in addition to the sciences mentioned in this research can increase the quality of studies related to underground dams and even large groundwater discovery are effective and in case of mild to severe droughts

1 and 2- Researcher and Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: n.sedalikhani@areeo.ac.ir)

can be a way to solve the country's problems in the field of using quality water and lower extraction costs. The results showed that Pashueeyeh watershed is not a susceptible place for underground dam construction in Lut desert region for water storage. According to the results of geoelectric sodages and field evidences, the bedrock at the proposed location has dense clay that have many salts and the depth of impact on the bedrock varies between at least 2.6 meters and a maximum of 7 meters. On the bedrock is a river alluvial layer consisting of two wet and dry horizons. Also, the river alluvial layer consists of sequences of layers with different aggregation and permeability. The results show that the electrical resistance of different layers rarely reaches more than 30 ohms per meter; this is due to fine grain texture and high density of sediments as well as water salinity.

Conclusion

One of the strategies to deal with water shortage is to extract water from new resources, especially the discovery of underground aqueous, which can be done by constructing different underground dams and with the new knowledge of the world. Underground dams in the world are expanding in different climates, especially in arid and semi-arid regions, which are likely to become one of the most important sources of water extraction in the future years, especially if they are associated with new technologies and combination of GIS, RS and geoelectric. the results showed that the combined role of GIS, RS and geoelectric in determining the susceptible areas of underground dam construction makes the accuracy of proper site construction of underground dams and even the discovery of underground aquifers much higher and achieved valuable results.

Keywords: Geographical system, Pashueeyeh watershed, Sondage, Underground dam

Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۶، بهمن- اسفند ۱۴۰۱، ص. ۷۴۲-۷۲۹

نقش تلفیقی GIS، RS و ژئوالکتریک در تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه پشوئیه استان کرمان)

نجمه حاج سید علی خانی[۱*]- حمزه سعیدیان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۷

چکیده

کنترل و استحصال آب با استفاده از سدهای زیرزمینی در مناطق خشک از زمان‌های نه چندان دور مورد توجه پژوهشگران و محققین بوده است. در این تحقیق برای تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از بازدیدهای میدانی حوزه آبخیز پشوئیه انتخاب شد. برای برقراری ارتباط میان معیارهای تاثیرگذار و صرفه‌جویی در وقت و هزینه از روشی مبتنی بر تلفیق نقشه‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS و RS استفاده شده است. نتایج نشان داد که حوزه آبخیز پشوئیه مکانی مستعد برای ساخت سد زیرزمینی در منطقه کویر لوت به منظور ذخیره آب نیست. با توجه به نتایج سونداژهای ژئوالکتریک و شواهد صحرایی سنگ کف در محل گزینه پیشنهادی از نوع رس متراکم دارای املاح فراوان می‌باشد و عمق برخورد به سنگ کف نیز بین حداقل ۲/۶ متر و حداکثر۷/۰ متر متغیر است. بر روی سنگ بستر یک لایه آبرفت رودخانه‌ای مشتمل بر دو افق آبدار و خشک قرار دارد. همچنین لایه آبرفت رودخانه‌ای شامل توالی لایه‌هایی با دانه‌بندی و نفوذپذیری متفاوت می‌باشند. چنانچه نتایج برداشت‌ها نشان می‌دهد مقاومت الکتریکی لایه های مختلف به ندرت به بیش از ۳۰ اهم بر متر می‌رسد که این امر ناشی از بافت ریز دانه و تراکم بالای رسوبات و نیز شوری آب می‌باشد. ضمنا نتایج نشان داد نقش تلفیقی GIS، RS و ژئوالکتریک در تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی باعث می‌شود دقت احداث مکان‌یابی درست احداث سدهای زیر زمینی و حتی کشف سفره‌های زیر زمینی بسیار بالاتر رود و به نتایج ارزشمندی دست پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز پشوئیه، سامانه جغرافیایی، سد زیر زمینی، سونداژ

مقدمه

باتوجه به محدودیت منابع آب و عدم تساوی سهم مردم جهان در بهره‌برداری از این موهبت الهی، پیش‌بینی شده است که اغلب کشورها به زودی از کمبود شدید آب رنج خواهند برد به طوری‌که اعتقاد راسخ بر آن است که در صورت ادامه این معضل، بسیاری از نزاع‌های بین‌المللی قرن‌های آینده بر سر آب باشد. ساختن سدهای زیر زمینی نیازی به ذخیره سطحی آب ندارد و سبب تغییر کاربری اراضی نیز نمی‌شود. بنابراین از لحاظ ابنیه‌ای سازگار با شرایط زیست محیطی می‌باشند (Telmer and Best, 2004). کمبود منابع آب زیرزمینی از یکسو و برداشت بی‌رویه و غیر علمی از سوی دیگر و افزایش روز افزون نیازهای مرتبط با رشد جمعیت جوامع علمی را به بازنگری و ارائه راهکارهای مناسب در خصوص مدیریت بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی و ایجاد منابع جدید یا مخازن تجدیدشونده در کشور وا می‌دارد (Fazelpour Aqda'i *et al.*, 2013). گستردگی مناطق خشک در جهان، افزایش روز افزون جمعیت، توسعه فعالیت های کشاورزی و صنعتی، گرم شدن هوای کره زمین و در نتیجه تغییرات اقلیمی حاصل از آن یک سو و محدود بودن منابع قابل استفاده در جهان از سوی دیگر، تامین آب برای فعالیت‌های بشری را

۱ و ۲- به‌ترتیب محقق و استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: n.sedalikhani@areeo.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.2022.79034.1207

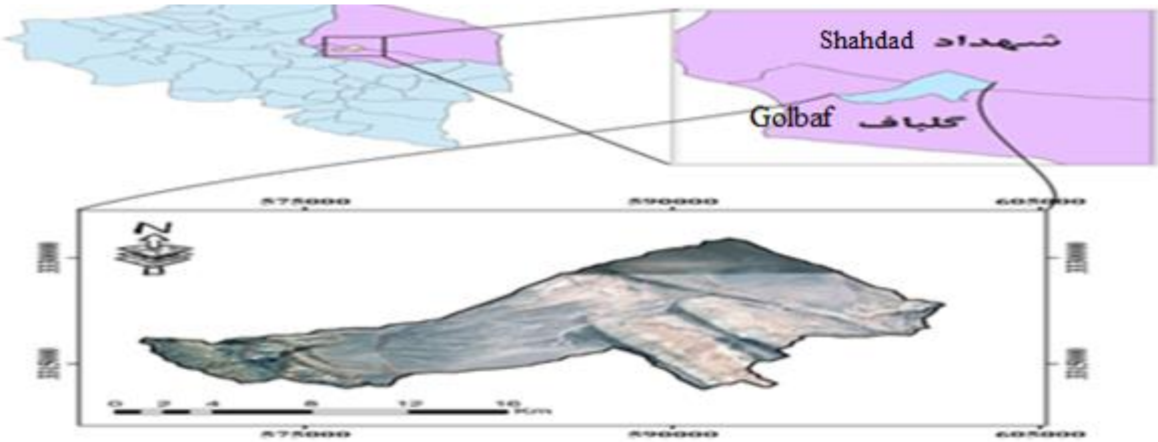
بیش از پیش دشوار نموده است. امروزه در بسیاری از کشورهای دنیا ساخت بندهای زیرزمینی به عنوان روشی جدید در بهره‌برداری از منابع آب مورد توجه قرار گرفته است. معیارهای متعددی مانند معیارهای فیزیکی، اقتصادی– اجتماعی و هیدرولوژیکی در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی دخالت دارند (Nilsson, 1988). سدهای زیرزمینی برای تغذیه سفرهای آب‌های زیرزمینی و ذخیره آب و همچنین جلوگیری از فرسایش خاک و افزایش کیفیت آب‌های زیرزمینی (Sagvand Hassanabadi and Modabber, 2006) کاربردهای وسیعی دارد. از دیگر توانایی‌های سدهای زیرزمینی برای جلوگیری از نفوذ اب دریاچه شور به سفره‌های آب شیرین است که در یوگسلاوی (Pavlin, 1973) و یونان (Garagunis, 1981) در سال ۱۹۷۳ پیشنهاد شدند. بندهای زیرزمینی به دلیل تنوع، در صورت اجرای مناسب، می‌توانند نقش موثری در مدیریت و توسعه منابع آبی کوچک به ویژه در دوران خشکسالی ایفا نماید. این روش کاربردهای متفاوتی داشته و در شرایط مختلف قابل اجرا می‌باشد (Majidi, 2006) و اگر به صورت علمی و درست ساخته شوند علاوه بر کمک به محیط زیست، جبران آب‌های سطحی و گسترش زمین‌های زیر کشت را به وجود خواهند آورد (Budagpour and Bageri, 2010). ضمنا سدهای زیرزمینی در همه کشورها به خصوص ایران که سطح اب زیرزمینی نوسان زیادی در فصل خشک و مرطوب دارد، مفید خواهد بود (Hasani *et al*., 2013). امروزه با توجه به اهمیت سدهای زیرزمینی در اقلیم‌های مختلف دنیا، محققان بسیاری با تمرکز بر روی سدهای زیرزمینی به دنبال یافتن راه حل‌هایی برای مکان‌یابی درست و همچنین احداث سدهای زیرزمینی مقرون به صرفه و با کیفیت بالا می‌باشند. داس گوپتا (Das Gupta, 2000) در جزیره ساحلی فاکت[1] در تایلند مطالعه‌ای با استفاده از مدل تفاضل محدود مادفلو بر روی حوزه آب زیرزمینی در دو حالت وجود و عدم وجو سد انجام داد و ارزیابی سد زیرزمینی بر میزان آب قابل برداشت مطمئن با کیفیت مناسب از لایه آبدار را انجام دادند. آشیدا و همکاران (Ishida *et al*., 2011) با مطالعه بر روی سدهای زیرزمینی، اثر سدهای زیرزمینی را توسعه پایدار منابع زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. اس کی[2] و همکاران (SK *et al*., 2018) مناطق حاوی آب زیرزمینی قابل بهره برداری در افیولیت‌های منطقه جنوب آندمان را در اعماق ۳ تا ۲۰ متری به کمک روش ژئو الکتریک شناسایی کردند و با انجام گمانه های اکتشافی در نقاط پیشنهادی، نتایج حاصل از مطالعات ژئو الکتریک را تصدیق نمودند. هدف از این مطالعه استفاده ترکیبی از فناوری‌های نوین برای مکان‌یابی درست سدهای زیرزمینی به منظور تقویت سفره آب‌های زیرزمینی و همچنین تقویت پوشش گیاهی و مصارف کشاورزی می‌باشد. بنابراین تلفیقی از علوم جدید مانند GIS، RS و ژئوالکتریک در تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی استفاده شد که به نوبه خود کاری ارزشمند می‌باشد که زمینه ایجاد پژوهش‌های ترکیبی دیگر را در اقلیم‌های مختلف کشور فراهم می کند و بیان می‌دارد که ترکیبی از علوم مختلف علاوه بر علوم ذکر شده در این پژوهش می‌تواند در بالا بردن کیفیت مطالعات مربوط به سدهای زیرزمینی و حتی کشف سفره‌های آبی بزرگ زیرزمینی موثر باشد و در مواقع خشکسالی‌های خفیف تا شدید می‌تواند راه‌گشای حل مشکلات کشور در زمینه استفاده از آب با کیفیت و هزینه استخراج کمتر باشد.

مواد و روش‌ها

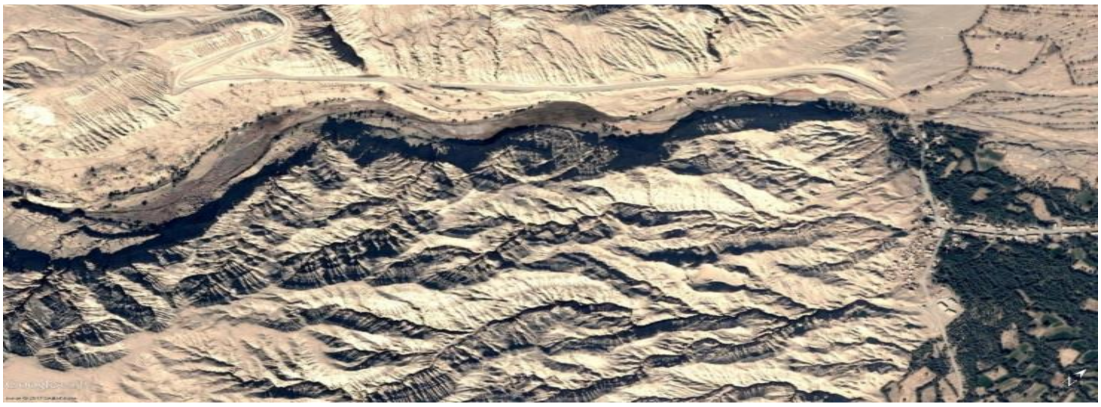
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز پشویئه به مساحت ۳۱۷/۷ کیلومتر مربع در حد فاصل بخش شهداد و گلباف، در شرق روستای جوشان متعلق به استان کرمان واقع شده است. محل پیشنهادی سد زیرزمینی در فاصله کمتر از دویست متری غرب پشوئیه قرار داد. روستای پشوئیه در جنوب اندوهجرد و در شمال روستای کشیت قرار دارد و دارای ۱۱۵ نفر جمعیت می‌باشد. محدوده مورد مطالعه واقع در ۳۳۱۱۱۰۲ تا ۳۳۳۲۹۷۲ عرض شمالی و ۵۶۷۹۰۳ تا ۶۰۱۳۹۶ طول شرقی می باشد. بیشترین ارتفاع منطقه ۲۶۷۸ متر و کمترین ارتفاع آن معادل ۳۷۸ متر از سطح دریا و متوسط وزنی ارتفاع ۱۰۴۴ متر است. شیب عمومی منطقه به سمت شرق و به عبارتی به سمت دشت لوت می باشد. براساس محاسبات انجام شده شیب متوسط وزنی منطقه مورد مطالعه برابر با ۷/۵ درصد می‌باشد. بارندگی کم و تبخیر زیاد بیانگر اقلیم منطقه و خشکی آن است. متوسط بارندگی سالانه حوزه ناچیز بوده و مقدار آن در ارتفاع متوسط حوزه برابر ۶۸ میلی‌متر برآورد شده است. دمای منطقه دارای نوسانات زیاد بوده و مقدار متوسط سالانه آن در ارتفاع متوسط حوزه ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. تنگه پشوئیه در فاصله کمتر از دویست متری غرب روستای پشوئیه قرار دارد و در حقیقت محل خروجی زهکش حوزه آبخیز بالادست به سمت کویر لوت می‌باشد که در برخی نقاط تنگه به صورت چشمه بیرون زده‌اند بر اساس بررسی‌های انجام شده هدایت الکتریکی آب این چشمه‌ها حدود ۳۷۰۰ تا ۴۰۰۰ میکرو موس می‌باشد. دسترسی به این گزینه به سادگی و از میان رودخانه امکان‌پذیر بوده است.

1- Fauket
2- SK



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز پشوئیه در استان کرمان
Figure 1- Pashueeyeh watershed location in Kerman province



شکل ۲- مکان پیشنهادی احداث سد زیرزمینی و آبادی پشوئیه
Figure 2- The proposed location of the underground dam and the village of Pashuiyeh

همچنین وجود پوشش گیاهی شامل درختان گز، کهور و نیز نی در بخشی از منطقه دیده می‌شود. عرض تنگه در محل پیشنهادی جهت احداث سد زیرزمینی حدود هشتاد و پنج متر است و به دلیل ایجاد مئاندر و انحنای مسیر رودخانه در قوس داخلی یا ساحل جنوبی تراس آبرفتی کم ارتفاعی ایجاد گردیده که از بستر رودخانه بین ۱ تا ۱/۵ متر ارتفاع دارد. موقعیت محل پیشنهادی در ۶۰۰۶۰۲ طول شرقی و ۳۳۲۲۸۴۶ عرض شمالی قرار دارد و ارتفاع محل گزینه پیشنهادی نیز حدود ۳۷۸ متر از سطح دریا است. وجود درختان کهنسال بر روی تراس آبرفتی موید فعالیت کشاورزی در سنوات قدیم می‌باشد.

روش تحقیق

در گام نخست، بررسی‌ها برای شناسایی محدوده‌های مناسب برای احداث بند زیرزمینی انجام گرفت. برای این منظور از داده‌های استخراج شده از نقشه‌های پایه، یافته‌های موجود در این زمینه و همچنین نظرات کارشناسی استفاده گردید. مناطق مناسب شامل بستر آبرفتی رودخانه‌هایی است که دارای شیب‌های حداکثر ۶ درصد می باشند و زمین‌های کشاورزی، صنعتی، مسکونی و کوره قنات در آنجا وجود ندارد. علاوه بر شرایط بالا این بسترهای آبرفتی نباید منطبق بر ساختارهای خطی مانند گسل‌ها باشند. برای تسریع در امر تصمیم گیری و همچنین پرهیز از جمع‌آوری اطلاعات مازاد بر نیاز درباره مسئله مورد بررسی ابتدا لازم است که با در نظر گرفتن تعدادی از معیارها و عوامل کلیدی، نقاط نامناسب حذف گردد. به طور نمونه یکی از این معیارها برای انتخاب مناطق مناسب احداث بند زیرزمینی، شیب بستر آبراهه می‌باشد. طبق بررسی‌ها و مطالعاتی که در سایر کشورها توسط محققین و کارشناسان صاحب نظر در مورد بندهای زیرزمینی به عمل آمده است (Wipplinger, Nilsson, 1988; 1982). شیب مناسب بستر آبراهه به جهت این که بتوان مخزن

مناسب آب زیرسطحی را با احداث بند زیرزمینی در آن ایجاد کرد نباید بیشتر از ۵٪ باشد البته با این فرض که شیب سنگ کف رودخانه از شیب بستر تبعیت می‌نماید. به علاوه در این مناطق به دلیل کم شدن سرعت آب زمان نفوذ آب افزایش می‌یابد. در نتیجه مناطقی از رودخانه که شیب بستر آن بیش از ۵٪ باشد جهت احداث بند زیرزمینی مناسب نمی‌باشند. استخراج این معیارها و مشخص کردن مناطق پتانسیل دار را می‌توان با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های زمینی همزمان، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین شناسی و دیگر اطلاعات انجام داد. در این تحقیق برای حذف نقاط نامناسب از منطق بولین استفاده گردید. منطق بولین یا منطق صفر و یک, برگرفته از نام ریاضیدان مطرح جورج بولی بوده است که در آن وزن دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی براساس امتیاز صفر و یک می‌باشد (Farhoudi *et al*., 2005). روش بولین دارای محدوده‌ای صریح است و ماهیتی قطعی و دقیق دارد. در منطق بولین دو نتیجه محتمل است: صفر و یک. صفر نشان دهنده آن است که عنصر مورد بررسی به مجموعه تعلق ندارد و یک یعنی عنصر به مجموعه تعلق دارد. از نظر منطق بولین مکان انتخاب شده خوب یا بد خواهد بود نه نسبتا خوب یا بد. به هرحال از آنجایی که اکثر پدیده‌های جغرافیایی به تدریج در زمان و فضا تغییر می‌کنند، اعمال حدود صریح بین طبقات نامناسب است (Tang, 2006). با استفاده از این منطق کاربر هیچ ایده‌ای در مورد بهترین و بدترین مکانی که کلیه محدودیت‌ها را در نظر بگیرد نخواهد داشت زیرا نتایج حاصل از آنالیز بولین ۰ و ۱ است که تنها نشان می‌دهد آیا مناطق مناسب هستند یا نه (Yanar and Akyurek, 2004). این منطق ساده‌ترین و شناخته‌ترین منطق GIS است که بر اساس عملیات بولین عمل می‌کند. مدل بولین دارای دو عملگر بولین AND و بولین OR می‌باشد که بر اساس نظریه‌ها، مجموعه‌ها عملگر AND، اشتراک و عملگرOR، اجتماع مجموعه‌ها را استخراج می‌کند (Grimm F, 2000). با توجه به هدف تحقیق که انتخاب مناطقی است که از لحاظ تمامی پارامترها مناسب باشند، از عملگر AND استفاده گردید. حوزه آبخیز کویر لوت با مساحت ۱۴/۵ میلیون هکتار بزرگترین حوزه آبخیز فلات ایران است که حدود ۹ میلیون هکتار آن را دشت‌های پهناور کویری تشکیل می‌دهند. بخشی از حوزه آبخیز کویر لوت که در استان کرمان واقع شده ۸۶۵۱۴/۷۵ کیلومتر مربع وسعت دارد که در حد فاصل ۵۹ درجه ۴۱ دقیقه و ۳۷/۵ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۷/۲ دقیقه و ۲۸/۲ ثانیه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. این حوزه از چندین زیر حوزه تشکیل شده است که مهمترین آنها به شرح ذیل می‌باشند. لازم به ذکر است در بخش قابل ملاحظه‌ای از حوزه‌های آبخیز کویر لوت مانند حوزه آبخیز نساء (احداث سد مخزنی نساء)، حوزه آبخیز آب باریک (احداث پخش سیلاب آب باریک)، حوزه آبخیز قدرونی (احداث سد مخزنی قدرونی) و در برخی از حوزه‌ها مانند حرمک، راور احداث سدهای زیرزمینی و یا سایر عملیات آبخیزداری، عملیات تامین و توسعه منابع آب صورت گرفته است که نقش قابل ملاحظه‌ای در کنترل رواناب حوزه‌های مذکور داشته است اما هنوز برخی از زیر حوزه های این حوزه آبخیز بزرگ اقدامات خاصی صورت نگرفته است که ضرورت دارد بررسی لازم جهت کنترل رواناب این زیر حوزه‌ها صورت گیرد که با توجه به تبخیر بسیار بالا، احداث سدهای زیر زمینی می تواند در اولویت کاری قرار گیرد. به منظور برآوردی از وضعیت آب زیرزمینی در بستر و تکیه گاه‌ها، در بحث‌های مربوط به گیاهشناسی و اکولوژی گیاهی، هر گونه رفتار خاصی نشان می‌دهد که مختص آن گونه یا تعدادی گونه یا جنس خاص می‌باشد. گاهی مواقع محقق می تواند با توجه به این موارد برخی ویژگی‌های خاک شناختی، هیدرولوژیکی، زمین شناختی و غیره پی ببرد. حضور گونه‌های گیاهی آبدوست و رودخانه روی مانند نی (*Aroundo* spp.) و خرزهره (*Nerium oleander*) نشان از وجود منابع غنی آب زیرسطحی و زیرقشری در بستر رودخانه دارد. گونه‌های دیگر مانند گز رودخانه‌ای (*Tamarix stricta*) نیز شاهد دیگری بر این مدعاست. روی دامنه‌ها گونه‌های خاصی که وجود آب زیر قشری را تأیید کند دیده نمی‌شود و به نظر می رسد به علت کمی بارش در مناطق پایین‌دست رودخانه دامنه ها چندان آبدار نباشند. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که جریان های زیر قشری و سطحی روخانه اصلی پشوئیه ناشی از بارش‌های ارتفاعات بالادست است.

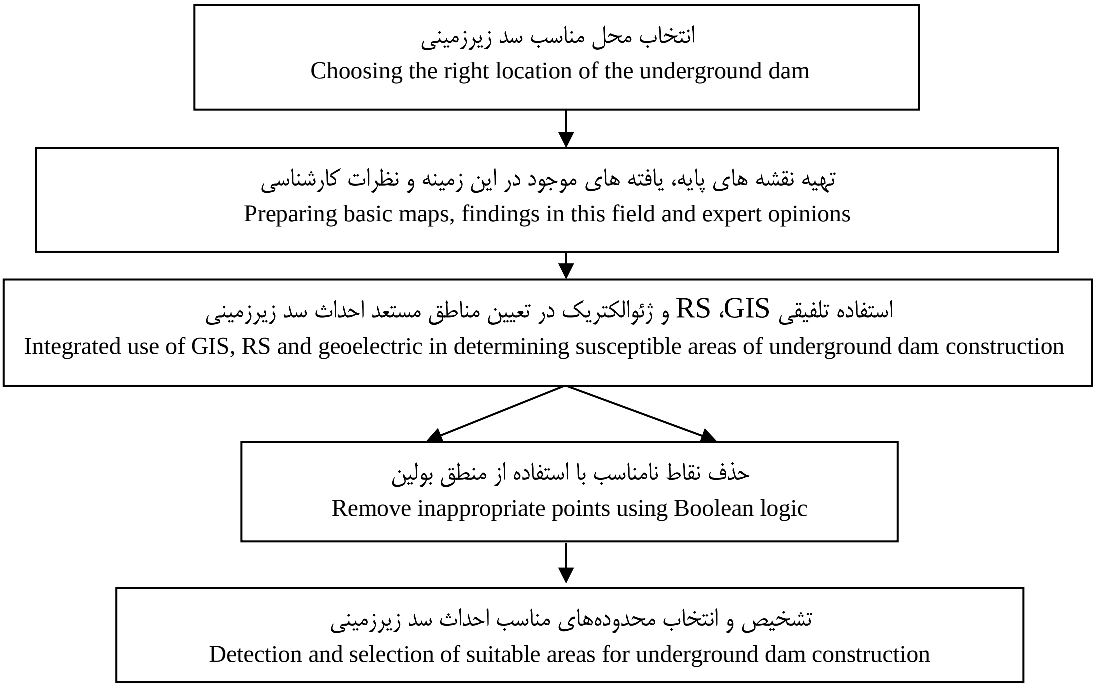
در بعضی قسمت‌های دشتی حوزه پشوئیه گونه‌هایی از قبیل دک[1] که غنچه آن ارزش اقتصادی دارد دیده می‌شود. در قسمت‌های مرتفع تر گونه‌های درمنه به چشم می‌خورد. از دیگر گونه‌های گیاهی موجود در منطقه می‌توان به انواع گز و گونه‌های شور پسند اشاره نمود. اما در مجموع پوشش منطقه فقیر و کمتر از ۵ درصد می‌باشد. اما در بعضی نقاط از بستر آبراهه‌ها بخصوص مناطقی که محل تقاطع رسوبات دوران چهارم با لایه رسی پوشش گیاهی متراکم تر و حتی بیش از ۵۰ درصد که به صورت لکه‌هایی در تصاویر ماهواره‌ای قابل رویت می‌باشند که خود دلیلی محکم بر وجود آب زیرقشری در دل کویر لوت است.

بعد از تهیه نقشه‌های پایه زمین شناسی، شیب و کاربری اراضی با استفاده از منطق بولین، مناطق دارای ارزش ۱ جز مناطق مستعد بند زیرزمینی مشخص می‌شوند. در این مرحله محورهای باقیمانده بایستی از سه جهت ارزیابی گردند. محور مورد نظر در هر محدوده علاوه بر داشتن کمترین عرض جهت حجم کار سازه ای کم، باید دارای حجم مخزن مناسب نیز باشد.

1- *Capparis spinosa*



شکل ۳- نمایی از پوشش گیاهی رودخانه ای در محل حوزه پشویئه
Figure 3- A view of river vegetation in the Pashueeyeh area



شکل٤- فلوچارت کلی انجام تحقیق
Figure 4- Total flowchart of research

از طرفی بایستی وجود منابع آبی حساس در این محدوده‌ها بررسی گردند. بعد از تعیین این مناطق با استفاده از بازدیدهای میدانی تنگه‌های موجود در این مناطق مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که هر چه طول محور کمتر باشد حجم کار سازه‌ای کاهش می‌یابد و عملیات اجرا با سرعت پیش می‌رود مناسب‌ترین محورها آنهایی می‌باشند که علاوه بر طول کم دارای گسترش سطحی زیاد مخزن در بالا دست محور باشند. از طرفی قنوات از جمله مهمترین منابع تأمین آب دراین مناطق می‌باشند که برای ساکنین موجود در آن مناطق دارای اهمیت شایانی می‌باشند و تخریب این منابع آبی با ارزش به هر دلیلی با چالش‌های محلی شدیدی همراه خواهد بود. هدف اصلی از احداث بند زیرزمینی در این مناطق نیزکمک به بهبود وضعیت منابع آبی موجود در منطقه و استفاده بهینه از جریان‌های زیرزمینی موجود

در بستر رودخانه می‌باشد (Tabatabai Yazdi and Nabi Peylashkarian, 2003). منتهی با این فرض که ایجاد یک منبع آبی جدید نباید با تخریب منبع آبی قدیمی منطقه همراه باشد. لذا با این پیش فرض که هیچ قناتی نباید به واسطه احداث بندزیرزمینی در معرض تخریب یا کاهش شدید دبی قرار بگیرد، مناطقی که در آنها کوره قنات وجود دارد، در این مرحله از پتانسیل‌یابی جزء مناطق نامناسب احداث بند زیرزمینی درنظر گرفته شده‌اند. از طرفی باید به این نکته توجه کرد که به دلیل قرار گرفتن مخزن در زیر سطح زمین و عدم توانایی تکنیک های موجود در تعیین دقیق خصوصیات مخزن به خصوص آب بند بودن آن، ریسک پرنشدن مخزن آب زیرزمینی می‌تواند وجود داشته باشد، بنابراین منطقی است که از تخریب قنوات تا حد ممکن جلوگیری شود. البته باید متذکر شد که احداث بند زیرزمینی در برخی مناطق برای قنواتی که در بالا دست محور بند قرار دارند یک امتیاز مثبت نیز محسوب می‌شود، چراکه احداث بند باعث بالا آمدن سطح ایستابی سفره‌های آبی موجود در منطقه و بالطبع افزایش طول بخش تره‌کار قنات و آبدهی بیشتر این قنوات می‌گردد. همچنین ضروری است که تمهیدات لازم برای قنوات پائین دست بند که ممکن است باکاهش دبی همراه باشند در نظر گرفته شود. با توجه به این عوامل و با بازدیدهای صحرایی در این محورها، محورهای مناسب از حوزه آبخیز کویر لوت شناسایی گردید.

خصوصیات تکتونیکی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی بسیار فعال و پیچیده می‌باشد و عامل تکتونیک تاثیر بسزایی در ایجاد شکل کنونی حوزه مورد مطالعه داشته و دارد بررسی‌های ساختاری نشان می‌دهد که اگرچه منطقه لوت به پایداری نسبی رسیده و به همین دلیل ازآن به عنوان بلوک لوت یاد می‌شود اما حواشی این بلوک بسیار فعال و پویاست و به همین دلیل همواره زمین لرزه‌های بزرگی در این مناطق روی می‌دهد. چنانچه گفته شد حرکت صفحه عربستان در جهت جنوب غربی به شمال شرقی باعث ایجاد رژیم فشاری به ویژه در ایران مرکزی گردیده که این امرکوتاه شدگی پوسته و ایجاد گسل هایی از نوع راندگی را در پی دارد در منطقه مورد مطالعه نیز رژیم فشاری وکوتاه شدگی بصورت ایجاد راندگی‌های موازی مشخص شده که رانده شدن بلوک لوت به زیر بخش غربی را باعث شده است. از سوی دیگر آخرین کوهزایی رخ داده در منطقه مورد مطالعه مربوط به کوهزایی پاسادنین است که در اواخر پلیوسن رخ داده و واحدهای قدیمی تر بخصوص لایه های زیرین سازند لوت را چین داده است.

علاوه بر ویژگی‌های ساختاری از مهمترین تاثیرات گسل‌ها، خردشدن سنگ‌ها و افزایش نفوذپذیری است ضمن اینکه با خردشدن سنگ‌ها شرایط مناسب برای افزایش تاثیر عوامل هوازدگی و فرسایش نیز فراهم می‌گردد، گسل‌ها و شکستگی‌های متعددی در داخل و مجاور حوزه وجود دارد.



شکل ۵- وضعیت گسل‌های حوزه آبخیز پشوئیه

Figure 5- The status of faults in the Pashueeyeh watershed

زمین‌شناسی و ساختار تکتونیکی ساختگاه سد زیرزمینی

واحدهای سنگی ساختگاه سد زیرزمینی شامل توالی از لایه‌های یک تا چندمتری مارن، سیلتستون و مادستون می‌باشند که در برخی افق‌ها و بصورت محلی به کنگلومرایی ریزدانه تبدیل می‌شوند کنگلومرای موجود عمدتاً دارای ماتریکس رسی و سیلتی بوده در نتیجه کنگلومرای گلی تشکیل شده است به نظر می‌رسد بدلیل عوامل تکتونیکی و در نتیجه تغییرات ایجاد شده در کف حوضه رسوبی که از نوع دریاچه‌ای بوده شرایط محیط به وفور تغییر نموده و باعث بروز تغییرات جانبی در فواصل کوتاه شده است. آبرفت‌های رودخانه‌ای موجود در بستر رودخانه پشوئیه عموما شامل شن، ماسه، قلوه سنگ و البته رس وسیلت بوده می‌باشند. در برخی افق‌ها هم با توجه به تغییر شرایط رسوبگذاری میزان رسوبات ریزدانه بصورت محلی افزایش می‌یابد. همچنین سنگ دانه‌ها و قلوه سنگ‌ها با توجه به طی کردن مسیر طولانی معمولاً گردشده و صاف می‌باشند. ساختگاه سد زیرزمینی پشوئیه از نظر تکتونیکی تحت تاثیر گسله شهداد است. تحت رژیم فشاری موجود در منطقه و در مجاورت این راندگی اصلی، تعداد زیادی گسله کوچک تر با امتدادهای مختلف ایجاد شده به طوری‌که دره پشوئیه در اثر عملکرد یکی از این گسله‌ها بوجود آمده است. همچنین برخی گسله‌های کوچکتر مرتبط با گسل شهداد مشاهده می‌گردند که به صورت عرضی رسوبات و واحدهای سنگی را قطع کرده‌اند بخصوص این امر در دامنه جنوبی رودخانه و در محل ساختگاه به خوبی دیده می‌شود. بنا براین فرار آب از طریق گسله موجود در سنگ بستر محتمل بوده و در این خصوص تنها پس از مطالعات تکمیلی می‌توان اظهار نظر نمود. در نقشه زیر موقعیت این گسل‌ها در ارتباط با ساختگاه سد نشان داده شده است. لایه‌بندی سنگ‌ها به صورت افقی و یا دارای شیب کم (۳۰>) به سمت غرب وجنوب غرب می‌باشند. درزه‌های موجود در واحدهای سنگی عمدتاً از نوع تکتونیکی بوده که با تاثیر عوامل فیزیکی در سطح سنگ‌ها توسعه یافته‌اند اما در عمق توده گسترش چندانی ندارند بنابراین امکان فرار آب از طریق سیستم‌های درزه قابل توجه نمی‌باشد. مضافاً بر اینکه با توجه به جنس سنگ‌ها و وجود ذرات رس، امکان آب‌بندی تقریبی و عدم ایجاد جریان زیرقشری از طریق درزه‌های موجود قابل انتظار می‌باشد.

اندازه‌گیری مقاومت ویژه

برداشت‌های ژئوالکتریک در محل تنگه پشوئیه صورت گرفت و در مجموع تعداد ۴ سونداژ الکتریک با فواصل متفاوت در محدوده پروژه به انجام رسید بطوری که بتوان حداقل یک مقطع طولی مورد نیاز را ترسیم نمود با توجه به اینکه حداقل عمق مورد نیاز جهت بررسی ۱۵ متر مد نظر بود بنابراین فاصله الکترودهای جریان بین ۸۰ تا ۱۰۰ متر انتخاب گردید تا بتوان حداقل به عمق نفوذ ۲۰ متر دست یافت. شایان ذکر است با وجود عوارض سطحی همچون عرض محدود تنگه، پستی و بلندی، انحنای آبراهه، وجود تراس‌های آبرفتی ناهموار و پوشش گیاهی انبوه امکان نصب الکترودها در یک نوار منظم وجود ندارد. در نتیجه تعداد سونداژها محدود و توزیع آنها در عرض تنگه مناسب نیست. گفتنی است تعیین مقاومت ویژه به روش سونداژ زنی و با استفاده از آرایه شلومبرژه انجام گردیده به طوری‌که همزمان با ارسال جریان الکتریکی مستقیم به الکترودهای جریان، اختلاف پتانسیل الکتریکی بین الکترودهای پتانسیل اندازه‌گیری شده است. دستگاهی که برای این مطالعات استفاده شده دستگاه Syscal R2 ساخت کشور فرانسه به همراه سایر تجهیزات مربوطه (کابل، الکترود و.......) می‌باشد در این دستگاه پتانسیل خودزای زمین قبل از ارسال جریان مشخص می‌شود که حاصل اندازه‌گیری بدست آمده مقدار خواهد بود نتیجه اینکه ضریب هندسی k با بعد متر بدست می آید. سپس داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار (IPI2WIN) مورد پردازش قرار گرفته و در نهایت نتایج پردازش شده تفسیر گردیده است. معمولا به منظور تدقیق بررسی‌های ژئوالکتریک، نتایج حاصل با داده‌های منتج از دیگر روش‌های مطالعه همچون ژئوتکنیک مقایسه و کنترل می‌گردد اما در مطالعات حاضر با توجه به عدم وجود حداقل شرایط جهت احداث سد از انجام عملیات ژئوتکنیک صرف نظر گردید.

نتایج و بحث

مطالعات ژئوفیزیکی بخش مهمی از بررسی‌های تحت‌الارضی را تشکیل می‌دهد چرا که با استفاده از این روش‌ها می‌توان بدون انجام حفاری و روش‌های پر خرج دیگر تصویر جامع و مفیدی از اعماق زمین بدست آورد و برای ابهاماتی همچون لیتولوژی، عمق سنگ کف، محل شکستگی‌ها و گسله‌ها، همبری لایه‌ها، تعیین ضرایب دینامیکی و... پاسخ مناسب یافت. از جمله این روش‌ها می‌توان به تعیین خواص الکتریکی زمین اشاره نمود که با شاخص مقاومت وی ژه الکتریکی و یا عکس آن (رسانندگی) سنجیده می‌شود. مقاومت ویژه الکتریکی از جمله ویژگی‌های متنوع مواد تشکیل دهندهٔ زمین است که مقدار آن متناسب با قابلیت هدایت الکتریکی مواد گوناگون تغییر می‌نماید. این روش که از جمله متداول‌ترین روش‌ها برای بررسی در اعماق محدود است به علت هزینه کم کاربرد زیادی دارد. از این روش در بررسی کیفی و کمی آب‌های زیرزمینی، مطالعات مهندسی در محدودهٔ سدها و نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها و مجتمع‌های صنعتی استفاده می‌شود. از دیگر کاربردهای این روش استفاده از آن در جهت

تعیین خورندگی خاک است. اهداف تعیین ژئوالکتریک منطقه بر پایه تعیین ویژگی‌های آبرفت محل پیشنهادی احداث سد زیر زمینی و مخزن سدهای زیرزمینی، تعیین خصوصیات سنگ بستر مادری و تعیین عمق آبرفت استوار است.

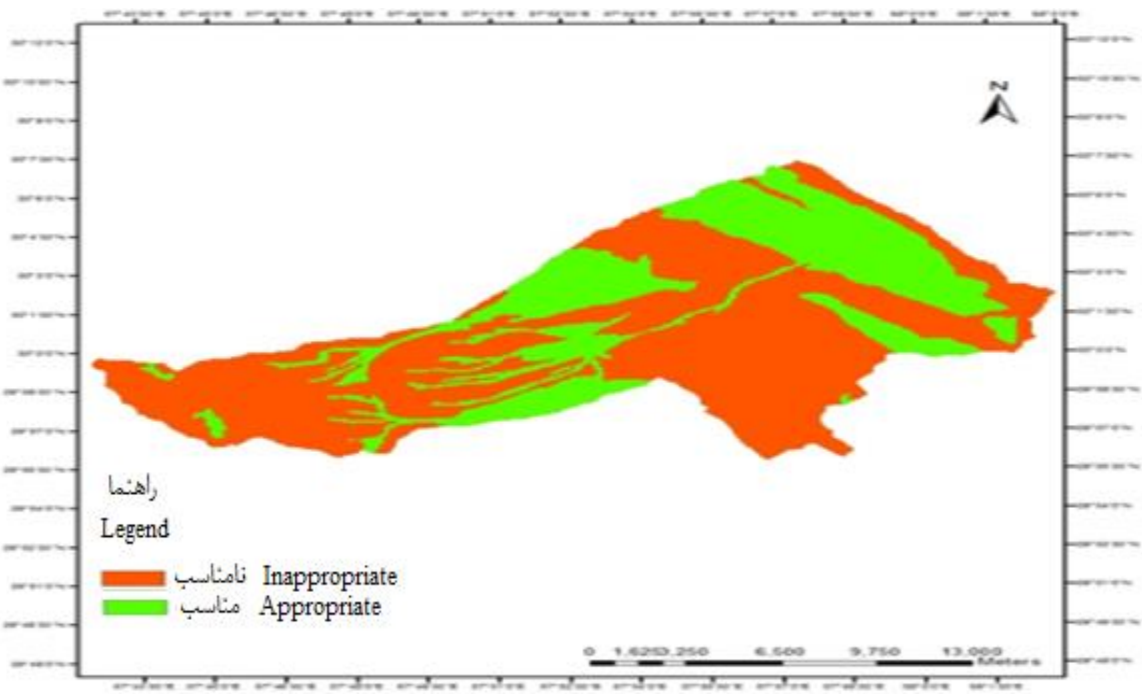
مقیاس مقاومت مخصوص لایه‌ها

با مقایسه مقادیر مقاومت الکتریکی در سونداژهای مختلف لایه های نفوذپذیر و نفوذ ناپذیر قابل تفکیک می‌باشد به نظر می‌رسد لایه های نفوذپذیر از جنس آبرفت ماسه‌ای و شنی و دارای مقاومت مخصوص الکتریکی بیش از ۳۰ اهم متر و لایه‌های نفوذناپذیر از جنس ریزدانه و رسی دارای مقاومت مخصوص کمتر از۲۰ اهم متر می‌باشد. البته بدلیل وجود املاح نمکی وگچی در رسوبات مقادیر ارائه شده کمتر از میزان معمول می‌باشد و این امر کاملا طبیعی است. همچنین به دلیل تغییرات جانبی زیاد حالات حد واسط نیز دیده می شود. در مجموع با توجه به نتایج سونداژهای ژئوالکتریک و شواهد صحرایی سنگ کف در محل گزینه پیشنهادی از نوع رس متراکم دارای املاح فراوان می‌باشد.

تشخیص و انتخاب محدوده‌های مناسب احداث بند زیرزمینی

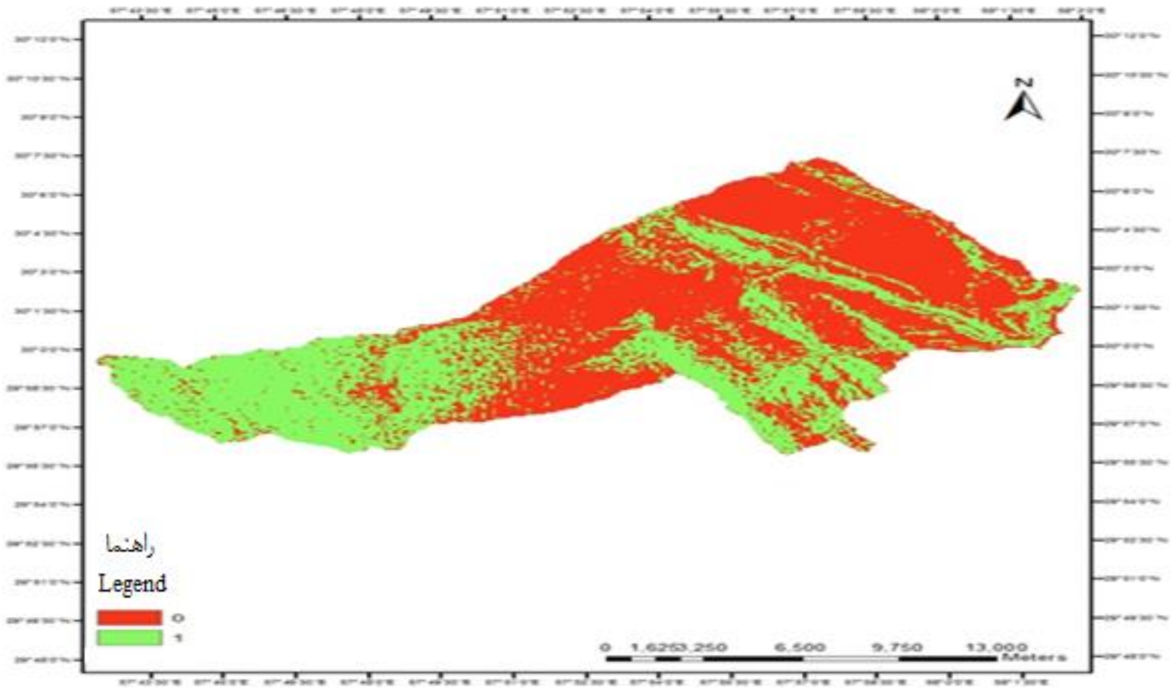
شاخص‌های تعیین محور مناسب برای احداث بند زیرزمینی در این پژوهش بدین صورت می‌باشد، که ابتدا عوامل تأثیرگذار که در فصل قبل مفصل بیان گردید، در شناسایی محدوده‌های مناسب احداث بند زیرزمینی بررسی گردید. به طوری‌که در آغاز نقشه‌های پایه شامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شیب تهیه گردید و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS از طریق منطق بولین با هم تلفیق گردید. در نقشه زمین‌شناسی سازندهای کواترنری دارای ارزش یک می‌باشند که این مناطق مناسب برای احداث بند زیرزمینی می‌باشد.

پس از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب و کاربری اراضی هر منطقه و تلفیق آنها در نرم‌افزار Arc GIS، با استفاده از منطق بولین، مناطقی که از نظر زمین‌شناسی، شیب وکاربری اراضی مناسب احداث سد زیرزمینی می‌باشند در یک نقشه تلفیق، با ارزش عددی (۱) و موارد غیر مناسب با ارزش عددی (۰) مشخص گردد. که در نهایت این نقشه کلی با نقشه‌های توپوگرافی و آبراهه تلفیق داده شده است.



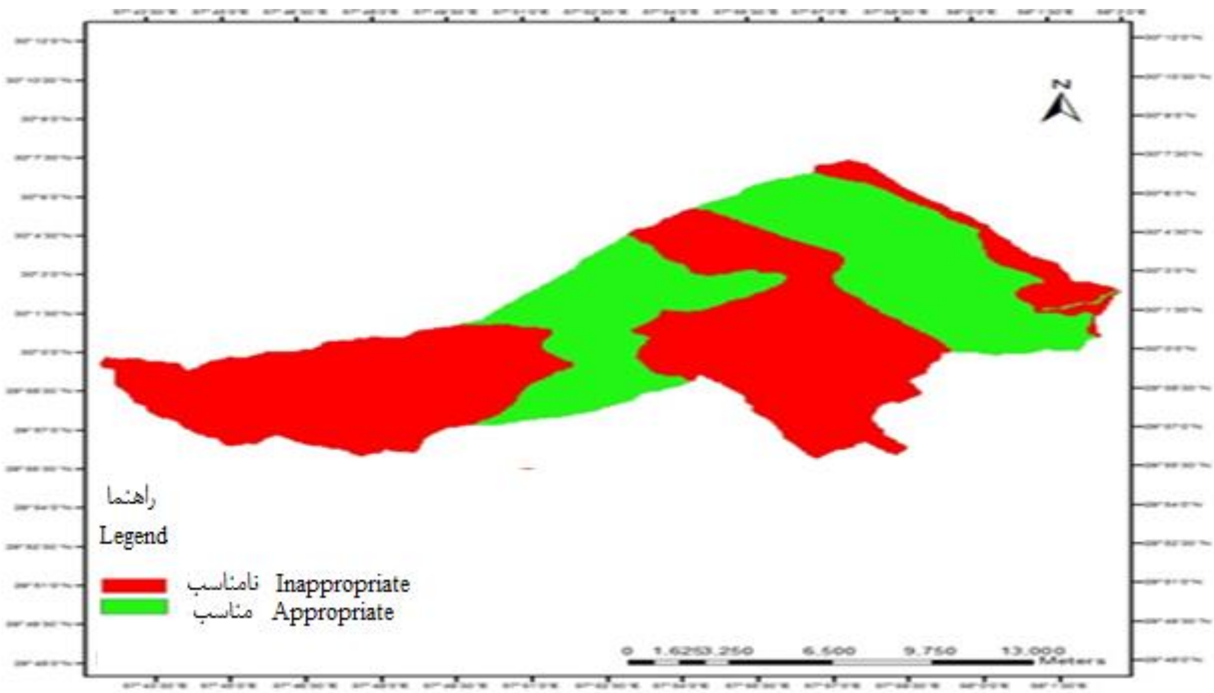
شکل ٦- نقشه محدوده‌های مناسب و نا مناسب زمین‌شناسی جهت احداث بند زیرزمینی در حوزه آبخیز پشویئه

Figure 6- Map of suitable and unsuitable geological areas for construction of underground dam in Pashueeyeh watershed



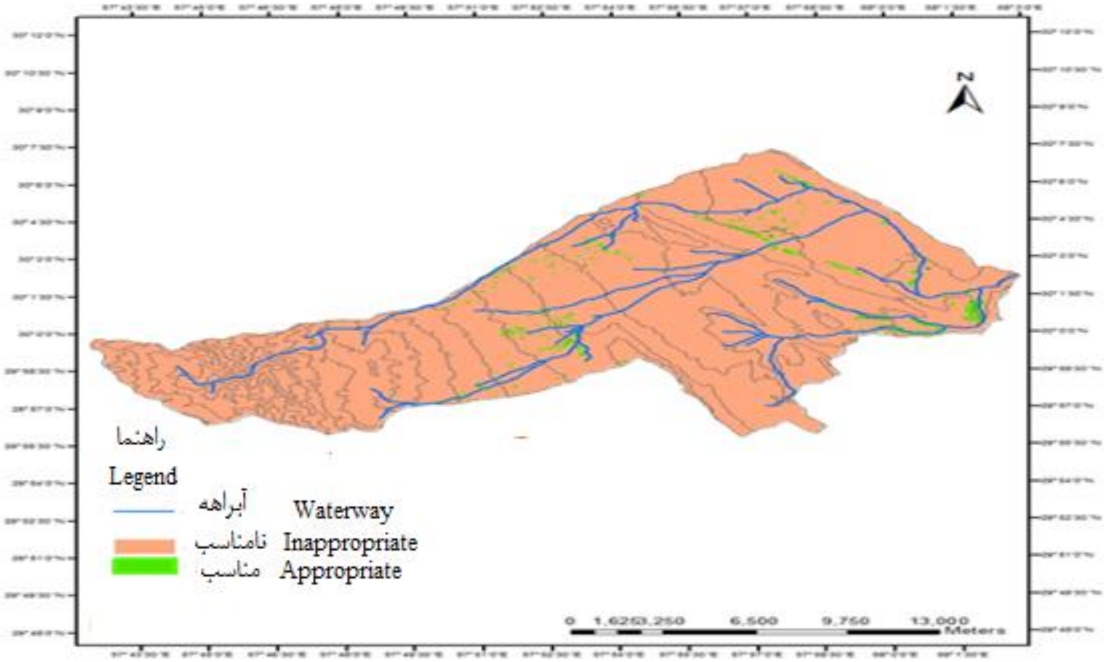
شکل ۷- نقشه محدوده های مناسب و نا مناسب شیب جهت احداث بند زیرزمینی در حوزه آبخیز پشویئه

Figure 7- Map of suitable and unsuitable slope areas for construction of underground dam in Pashueeyeh watershed



شکل ۸- نقشه محدوده‌های مناسب و نا مناسب کاربری اراضی جهت احداث بند زیرزمینی درحوزه آبخیز پشویئه

Figure 8- Map of suitable and unsuitable land use areas for construction of underground dam in Pashueeyeh watershed



شکل ۹- نقشه تلفیق محدوده‌های مناسب و نا مناسب با خطوط آبراهه و توپوگرافی احداث بند زیرزمینی پشوئیه

Figure 9 - Map of combining suitable and unsuitable areas with waterway lines and topography of Pashueeyeh underground dam construction

با توجه به نقشه‌های ترسیم شده در حوزه آبخیز پشوئیه از حوزه های آبخیز کویر لوت، مکان‌های مناسب احداث بند خاکی با توجه به ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب و کاربری اراضی در نرم‌افزار GIS مشخص گردید. با وجود این نقشه‌ها و بازدیدهای میدانی و انجام آزمایشات ژئوتکنیک مربوطه در مجموع تعداد ۴ سونداژ الکتریک با فواصل متفاوت در محدوده پروژه به انجام رسید به طوری که بتوان حداقل یک مقطع طولی مورد نیاز را ترسیم نمود. شایان ذکر است با وجود عوارض سطحی همچون عرض محدود تنگه، پستی و بلندی، انحنای آبراهه، وجود تراس‌های آبرفتی ناهموار و پوشش گیاهی انبوه امکان نصب الکترودها در یک نوار منظم وجود ندارد. در نتیجه تعداد سونداژها محدود و توزیع آنها در عرض تنگه مناسب نیست. گفتنی است تعیین مقاومت ویژه به روش سونداژ زنی و با استفاده از آرایه شلومبرژه انجام گردیده به طوری‌که همزمان با ارسال جریان الکتریکی مستقیم به الکترودهای جریان، اختلاف پتانسیل الکتریکی بین الکترودهای پتانسیل اندازه‌گیری شده است. با توجه به نتایج سونداژهای ژئوالکتریک و شواهد صحرایی سنگ کف در محل گزینه پیشنهادی از نوع رس متراکم دارای املاح فراوان می‌باشد و عمق برخورد به سنگ کف نیز بین حداقل ۲/۶ متر و حداکثر ۷/۰ متر متغیر است. بر روی سنگ بستر یک لایه آبرفت رودخانه‌ای مشتمل بر دو افق آبدار و خشک قرار دارد. همچنین لایه آبرفت رودخانه‌ای شامل توالی لایه‌هایی با دانه‌بندی و نفوذپذیری متفاوت می‌باشند.

چنانچه نتایج برداشت‌ها نشان می‌دهد مقاومت الکتریکی لایه‌های مختلف به ندرت به بیش از ۳۰ اهم بر متر می‌رسد که این امر ناشی از بافت ریز دانه و تراکم بالای رسوبات و نیز شوری آب می‌باشد. با توجه به محدودیت عرض بستر رودخانه (حدود ۴۵ متر)، بالا بودن سنگ کف و نیز نتایج در خصوص نفوذپذیری محدود رسوبات آبرفتی، مخلوط رسوبات شنی با رس به نظر می‌رسد در محل این گزینه انتخابی حداقل شرایط برای ایجاد مخزن سد زیرزمینی مناسب از نظر کمیت و کیفیت آب قابل استحصال وجود ندارد. اگر چه بررسی‌های محلی نشان می‌دهد که بند سنگ و سیمانی موجود در بالادست گزینه پیشنهادی بر روی سنگ کف بنا نگردیده و بنابراین از زیر آن فرار آب وجود دارد اما حجم این نشت آب آنچنان نیست که احداث سد زیرزمینی را توجیه نماید. در مجموع استفاده از روش ژئوالکتریک برای کشف لایه‌های آبدار می توانـد در حال و آینده بسیار مورد استفاده قرار گیرد که با نتایج تحقیقات یوگو و همکاران (Ugwu *et al.*, 2016) و اس کای و همکاران (Sk *et al.*, 2018) که از روش ژئو الکتریک برای کشف لایه‌های آبدار با عمق‌های مختلف استفاده کرده و نتایج معقولی گرفتند، مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

یکی از راهکارهای مقابله با کم آبی، استحصال آب از منابع جدید به خصوص کشف سفره‌های زیر زمینی خلاصه می‌شود که این مهم

می‌تواند با احداث سدهای زیر زمینی مختلف و با علم روز دنیا به وقوع بپیوندد. سدهای زیر زمینی برای اهداف مختلف از جمله تقویت سفره آب‌های زیرزمینی، تقویت پوشش گیاهی و همچنین مصارف کشاورزی کاربردهای زیادی دارند که در این تحقیق مد نظر قرار گرفتند. سدهای زیر زمینی در سراسر دنیا در اقلیم‌های مختلف به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک در حال گسترش می‌باشند که احتمالا در سال‌های آینده به یکی از مهمترین منابع استحصال آب تبدیل می‌شوند به خصوص اگر با فناوری‌های نوین و تلفیقی از GIS، RS و ژئوالکتریک همراه باشند. با توجه به نتایج سونداژهای ژئوالکتریک و شواهد صحرایی سنگ کف در محل گزینه پیشنهادی از نوع رس متراکم دارای املاح فراوان می‌باشد و بر روی سنگ بستر یک لایه آبرفت رودخانه‌ای مشتمل بر دو افق آبدار و خشک قرار دارد. همچنین لایه آبرفت رودخانه‌ای شامل توالی لایه‌هایی با دانه‌بندی و نفوذپذیری متفاوت می‌باشند. چنانچه نتایج برداشت‌ها نشان می‌دهد مقاومت الکتریکی لایه‌های مختلف به ندرت به بیش از ۳۰ اهم بر متر می‌رسد که این امر ناشی از بافت ریز دانه و تراکم بالای رسوبات و نیز شوری آب می‌باشد. به نظر می‌رسد در محل این گزینه انتخابی حداقل شرایط برای ایجاد مخزن سد زیرزمینی مناسب از نظر کمیت و کیفیت آب قابل استحصال وجود ندارد. نقش تلفیقی GIS، RS و ژئوالکتریک در تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی باعث می شود دقت احداث مکان‌یابی درست احداث سدهای زیر زمینی و حتی کشف سفره‌های زیرزمینی بسیار بالاتر رود و به نتایج ارزشمندی دست پیدا کرد و حتی مکان‌هایی که محققان فکر می‌کنند با توجه به شرایط منطقه گزینه مناسبی برای ایجاد سد زیرزمینی هستند با دقت بالای این روش حذف می‌شوند و گزینه‌های بهتر و مناسب تر کشف می‌شوند.

منابع

1. Budagpour, S., & Bageri, H. (2010). *Investigating the environmental effects of building underground dams on groundwater*. 4th Conference, exhibition on environmental engineering, Tehran, Iran. (In Persian)
2. Das Gupta, A. (2000). Assessment of groundwater potential with underground dam in Phuket Island of Thalaud.
3. Farhoudi, R., Habibi, K., & Zandi Bakhtiari, P. (2005). Locating the landfill of municipal solid wastes using fuzzy logic in GIS environment (Case study: Sanandaj city), *Journal of Fine Arts* 23: 24-15.
4. Fazelpour Aqda'i, M., Dastomani, M., Talebi, A., & Piri Ardakani, M. (2013). *Underground dam, a suitable solution for water management in droughts (Case study: Ardkan city mil Safid basin)*, 9th National Watershed Management Conference of Yazd University.
5. Garagunis, C.N. (1981). Construction of an impervious diaphragm for improvement of a Subsurface water reservoir and simulations protection from migrating salt water, *Bulletin of International Association Engineering Geology* 24: 169-172.
6. Grimm, F.M. (2000). *Geographical information systems for geoscience scholars (GIS modeling)*, translated by Geo-Reference Group (GIS) of Geological Survey of Iran, 562 pp.
7. Hasani, A., Hasani, H., & Shirkhani, H. (2013). *Underground dam building methods*. 1st National conference on drainage and sustainable agriculture, Tehran, Iran. (In Persian)
8. Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., & Imaizumi, M. (2011). Sustainable use of groundwater with underground dams, *JARQ* 45: 51–61. https://doi.org/10.6090/jarq.45.51.
9. Majidi, A.R. (2006). Management of underground water resources using underground dams method, *Journal of Soil and Water Conservation 2*(1).
10. Nilsson, A. (1988). *Groundwater dams for small-scale water supply*, Intermediate Technology Publications, London. 78 pp.
11. Pavlin, B. (1973). *Establishment of subsurface dams and utilization of natural subsurface Barriers for realization of underground storage in the coastal karst spring zones and their protection against seawater intrusion*. In Trans. 11th Int. Congress on large dams, 1, 487-501.
12. Sagvand Hassanabadi, L., & Modabber, L. (2006). *Storage and collection with the construction of underground dams*, the first regional conference on optimal utilization of water resources in Karun and Zayandehrud basins, Shahrekord.
13. SK, M., Ramanujam, N., Champoil, V., Biswas, S.K., Rasool, Q.A., & Ojha, C. (2018). Identification of groundwater in hard rock terrain using 2D electrical resistivity tomography imaging technique: Securing water scarcity at the time of seasonal rainfall failure, South Andaman. *International Journal of Geosciences* 9: 59-70. https://doi.org/10.4236/ijg.2018.91004.
14. Tabatabai Yazdi, J., & Nabi Peylashkarian, S. (2003). *Groundwater dams for small scale water supply*, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute Publications, 63 pp.

15. Tang, Z. (2006). *Selecting optimal residential locations using fuzzy GIS modeling*. University of north Texas.
16. Telmer, K., & Best, M. (2004). *Underground dams: A practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions*. School of earth and oceans sciences. University of Victoria.
17. Wipplinger, O. (1982). Water storage in semi-arid regions,Unpublished paper. 30 pp.
18. Yanar, T., & Akyurek, Z. (2004). *The enhancement of ArcGIS with Fuzzy set theory*, ESRI International User Conference.
19. Ugwu, N.U., Ranganai, R.T., Simon, R.E., & Ogubazghi, G. (2016). Geoelectric evaluation of groundwater potential and vulnerability of overburden aquifers at Onibu Eja active open dump site, Osogbo, Southwestern Nigeria. *Journal of Water Resource and Protection* 8: 311-329.